**PENGGUNAAN LUMPUR SIDOARJO (LUSI) SEBAGAI SUBSTITUSI FLY ASH DENGAN RASIO 1:4 – 6 PASIR PADA MORTAR GEOPOLIMER DENGAN NaOH 12 MOLAR DAN KONDISI SS/SH 0,5 DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN POROSITAS**

**Vibri Andika**

Mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail : [vibriandika@mhs.unesa.ac.id](mailto:vibriandika@mhs.unesa.ac.id)

**Arie Wardhono**

Dosen Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail : [ariewardhono@unesa.ac.id](mailto:ariewardhono@unesa.ac.id)

**Abstrak**

Lingkungan yang tercemar merupakan salah satu dampak negatif akibat dari kegiatan produksi semen portland. Masalah yang cukup serius tersebut harus ditangani dengan cara meminimalisasi penggunaan semen portland sebagai material konstruksi yang dapat memberikan pengaruh buruk terhadap lingkungan. Berdasarkan United Nations Climate Change Conference, 03-14 Desember 2007 lalu menghasilkan beberapa keputusan yang di antaranya menyatakan emisi dari gas rumah kaca yang besar menjadi penyebab utama perubahan iklim di dunia. Dalam hal ini berkaitan dengan pembuatan semen portland yang menghasilkan gas CO2. Riset pembuatan beton ramah lingkungan terus dilakukan oleh para pakar teknologi beton dengan pemanfaatan reaksi ikatan geopolimer. Geopolimer sendiri didefinisikan sebagai material hasil reaksi dari geosintesis aluminosilikat polimerik dengan alkali-silikat dan terbentuk menjadi kerangka polimer SiO4 (silika tetraoksida) dan AlO4 (alumunium tetraoksida) yang terikat secara tetrahendral. Pada penelitian ini berisi tentang mortar geopolimer dengan campuran LUSI dan *Fly Ash* sebagai bahan utama dimana prosentase campurannya sebesar 0% sampai dengan 50%, dan sebagai kontrol akan ditambahkan kelipatan 5% di setiap variasi LUSI dan PC. Sebagai aktifator digunakan NaOH 12M, campuran larutan Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat dengan rasio 0,5 dan perbandingan rasio aktifator dengan pasir sebesar 1 : 4-6. Dimana hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada pengujian nilai kuat tekan akan terus menurun seiring dengan bertambahnya prosentase LUSI yang akan digunakan. Hasil pengujian nilai kuat tekan maksimal pada usia 28 hari dengan penambahan 0% LUSI yaitu sebesar 8,11 MPa dan kuat tekan terendah pada penambahan 50% LUSI yaitu sebesar 1,83 MPa. Pada hasil pengujian porositas usia 28 hari memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan dengan titik terendah terjadi pada subtitusi 0% yaitu sebesar 19,53% dan terjadi peningkatan maksimal pada subtitusi 50% yaitu sebesar 28,91%. Dari hasil nilai kuat tekan dan porositas dapat dikatakan bahwa hubungan nilai kuat tekan dan porositas berbanding terbalik. Hal ini dapat ditunjukan bahwa pengaruh peningkatan subtitusi LUSI pada mortar geopolimer akan memberikan nilai kuat tekan yang lebih rendah dan porositas yang lebih tinggi.

**Kata Kunci:** Mortar Geopolimer, Lumpur Sidoarjo, *Fly* Ash, Porositas, Kuat Tekan,.

*A polluted environment is one of the negative impacts of portland cement production activities. This serious problem must be addressed by minimizing the use of portland cement as a construction material that can have a negative impact on the environment. Based on the United Nations Climate Change Conference, December 3-14, 2007, several decisions were made, including stating that large greenhouse gas emissions are the main cause of climate change in the world. In this case, it is related to the manufacture of portland cement which produces CO2 gas. Research on the manufacture of environmentally friendly concrete continues to be carried out by concrete technology experts by utilizing geopolymer bond reactions. Geopolymer itself is defined as a material resulting from the reaction of polymeric aluminosilicate geosynthesis with alkali-silicate and formed into a polymer framework of SiO4 (silica tetraoxide) and AlO4 (aluminum tetraoxide) which are tetrahdrally bonded. This study contains a geopolymer mortar with a mixture of LUSI and Fly Ash as the main ingredients where the percentage of the mixture is 0% to 50%, and as a control will be added multiples of 5% in each variation of LUSI and PC. As an activator, 12M NaOH is used, a mixture of Sodium Hydroxide and Sodium Silicate solution with a ratio of 0.5 and the ratio of the ratio of activator to sand is 1: 4-6. Where the results of this study indicate that in testing the compressive strength value will continue to decrease along with the increase in the percentage of LUSI that will be used. The results of testing the maximum compressive strength value at the age of 28 days with the addition of 0% LUSI which is 8.11 MPa and the lowest compressive strength at the addition of 50% LUSI which is 1.83 MPa. The results of the porosity test at the age of 28 days have a value that is inversely proportional to the compressive strength value with the lowest point occurring at 0% substitution, which is 19.53% and there is a maximum increase in 50% substitution, which is 28.91%. From the results of the compressive strength and porosity values, it can be said that the relationship between the compressive strength and porosity values ​​is inversely proportional. It can be shown that the effect of increasing LUSI substitution on geopolymer mortar will give lower compressive strength and higher porosity.*

***Keywords****: Geopolymer Mortar, Sidoarjo Mud, Fly Ash, Porosity, Compressive Strength,.*

**PENDAHULUAN**

Lumpur panas yang menyembur keluar pada saat pengeboran di Porong Sidoarjo atau lebih dikenal dengan sebutan Lumpur Lapindo menjadi limbah yang sangat mengganggu dan merugikan keberadaan masyarakat setempat, Sehingga pihak BPLS mengalihkan luapan Lumpur Sidoarjo ke sungai Porong yang ada di dekat area tanggul. Namun berakibat negatif terhadap lingkungan sungai Porong. Solusi lain untuk mengurangi jumlah limbah dari Lumpur Sidoarjo adalah dengan cara menjadikannya sebagai bahan campuran beton geopolimer.

Pada era sekarang dimana banyak dilakukan upaya pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan, salah satunya adalah dengan mengembangkan beton geopolimer. Dalam hal ini kaitannya dengan produksi semen Portland yang menghasilkan gas CO2. Berbagai inovasi untuk mengurangi penggunaan semen portland sebagai material bahan bangunan terus dikembangkan.

Geopolimer adalah material yang diperoleh dari reaksi geosintesis aluminosilikat polimerik dengan alkali-silikat dan terbentuk menjadi kerangka polimer SiO4 (silika tetraoksida) dan AlO4 (alumunium tetraoksida) yang terikat secara tetrahendral.

Selain itu, bahan-bahan alternatif mineral alami lainnya yang mengandung unsur SiO2 (silika oksida) yang tinggi dapat digunakan sebagai pengganti semen portland seperti Lumpur Lapindo Sidoarjo dan abu terbang (Fly Ash) mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu Jodjana, Aleksander (2014).

Fly ash dan Lumpur Sidoarjo mengandung senyawa Al2O3, dan Fe2O3 yang tinggi. Akan tetapi banyak penelitian tentang penggunaan Lumpur Sidoarjo yang sampai saat ini masih belum memenuhi syarat beton mutu tinggi. Dikarenakan hal tersebut, penelitian dengan mencampurkan abu terbang dengan Lumpur Sidoarjo diharapkan bisa menghasilkan beton geopolimer dengan kuat tekan yang tinggi.

**Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari penggunaan Lumpur Lapindo sebagai bahan substitusi fly ash terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan NaOH 12 Molar ?

2. Berapa kadar optimum penggunaan Lumpur Lapindo sebagai bahan substitusi fly ash terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan NaOH 12 Molar ?

**Batasan Masalah**

Adapun beberapa batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini antara lain:

1. Kombinasi dari Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na2SiO3) sebagai larutan alkali.

2. *Fly ash* tipe C yang didapatkan dari PLTU Paiton, Jawa Timur, dan Lumpur Lapindo sebagai substitusi fly ash.

3. Benda uji yang digunakan adalah kubus dengan dimensi 5 cm x 5 cm x 5 cm.

4. Perbandingan Fly ash dengan Pasir adalah 1:4 - 6

5. Suhu normal ruangan yaitu antara 27 ° C - 35 ° C

**METODE PENELITIAN**

Tahap-tahap penelitian ini dilakukan secara langsung di laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil Unesa dan menggunakan metode uji laboratorium *(experimental)* pada proses pengumpulan data. Penelitian ini dilakukan dengan melalui tahapan-tahapan, dengan proses persiapan sampai pengujian dan menggunakan referensi dari penelitian-penelitian sebelumnya sebagai acuan, kemudian dilakukan penelitian molar sebesar 1.0 dengan variasi perbandingan rasio SS/SH 12 dengan *water solid* larutan aktifator (w/s) sebesar 0.35. Penelitian ini menggunakan mortar kubus 5x5x5 cm sebagai benda uji yang digunakan untuk percobaan uji kuat tekan dan uji porositas mengacu pada ASTM C 109/C 109M. 2008.

Berikut ini merupakan tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

Uji Pasir

1. Uji Berat Jenis
2. Uji Gradasi Pasir
3. Uji Penyerapan Air
4. Uji Kadar Lumpur

Memenuhi Syarat

A

1. Uji Kandungan

Kimia / Uji XRF

1. Uji Daya Ikat

Memenuhi Syarat

*Fly Ash*

Air

Na2SiO3

Larutan

NaOH 12 M

Pasir

Lusi

Persiapan Alat dan Bahan

Mulai

Tidak

Tidak

Ya

Ya

A

Pembuatan *Mix Design* Benda Uji

Perawatan Benda Uji

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian Porositas

Selesai

Analisis Data

Simpulan

**Gambar 1**. Bagan Tahapan Alur Penelitian

1. Persiapan bahan dan alat

Guna memerlancar dalam proses pembuatanmortar geopolimer alat dan bahan akan dipersiapkan terlebih dahulu.

1. Pengujian Bahan Material

*Fly Ash,* Lumpur Sidoarjo (LUSI) dan pasir yang merupakan bahan dasar mortar geopolimer akan diuji untuk mengetahui karateristik bahan tersebut.

1. Pembuatan Benda Uji Berdasarkan *Mix Design*

Laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya merupakan tempat proses pembuatan benda uji dilakukan di sesuai dengan prosedur pelaksanaan. Perhitungan *mix design* untuk mendapatkan rasio dan kebutuhan bahan yang direncanakan terlebih dahulu sebelum proses ke tahap membuat benda uji.

**Tabel 1. *Mix Design***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Mix Design dengan Kondisi SS/SH 12 Molar = 0,5 dan W/S = 0,40*** | | | | | | | | |
| ***No.*** | ***PC*** | **Pasir** | ***Fly Ash*** | **LUSI** | **Kapur** | ***Water*** | ***Sodium Silikat*** | ***NaOH 12M*** |
| **1** | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0.485 | 0 | 0 |
| **2** | 0 | 4 | 0.8 | 0 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **3** | 0 | 4 | 0.75 | 0.05 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **4** | 0 | 4 | 0.7 | 0.1 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **5** | 0 | 4 | 0.65 | 0.15 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **6** | 0 | 4 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **7** | 0 | 4 | 0.55 | 0.25 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **8** | 0 | 4 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **9** | 0 | 4 | 0.45 | 0.35 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **10** | 0 | 4 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **11** | 0 | 4 | 0.35 | 0.45 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |
| **12** | 0 | 4 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.05 | 0.211 | 0.422 |

1. Perawatan *(Curing)*

Pada tahapan ini akan dapat dilakukan dengan cara menempatkan benda uji dengan baik pada suhu ruang dan melindungi dari cahaya matahari secara langsung sampai waktu benda uji siap diuji sesuai rencana.

1. Pengujian Benda Uji

Variabel dari pengujian pada penelitian ini yaitu dengan melakukan pengujian kuat tekan, pengujian porositas dan pengujian vicat.

1. Analisis Data

Teknik analisa data ini dilakukan dengan menyusun hasil data dari penelitian dan disusun dalam bentuk tabel dan grafis.

1. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dapat diambil dari analisis hasil dari pengujian benda uji yang diperoleh dan disusun dari penelitian guna penelitian lebih lanjut.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

1. Pengujian Material benda uji

Pada penelitian ini akan melakukan pengujian material utama penyusun mortargeopolimeryaitu : Pasir, *Fly Ash*, LUSI*,* dan *PC*

1. Hasil Pengujian Karakteristik Agragat Halus

**Tabel 2** Data Hasil Pengujian Agregat Halus

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Pengujian** | **Pasir Lumajang** | **SNI** |
| 1 | Berat Volume | 1,76 gram/cm3 | 1,5-2,0 gr/cm3 |
| 2 | Kadar Lumpur | 0,21% | < 5% |
| 3 | Daya Serap Air | 1,63% | < 5% |
| 4 | Analisa Hasil Ayakan | Lapangan=Zona 2 | FM=2,50-3,80 |
| FM=2,71 |
| Mortar=Zona 4 |
| FM=2,0 |
| 5 | Berat Jenis | 2,75 gram/cm3 | Min 2,5 gr/cm3 |

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lumajang dengan kondisi kering permukaan (SSD). Hasil yang didapatkan dari pengujian membuktikan bahwa pasir tersebut memenuhi standart sebagai agregat halus sesuai SNI 03-1970-1990.

1. *Portland Cement* (PC)

*Portland Cement* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai bahan pengikat utama pada mortar dalam *mix design* 1 atau dapat disebut *mix design control* mengacupada ASTM C 618-93. Hasil Uji *Portland Cement* dengan metode XRF terlampir pada **Tabel 3** berikut ini.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Komponen Kimia** | **Unit (%)** |
| 11 | In | 0,60 |
| 12 | Fe | 20,40 |
| 13 | Cu | 0,13 |
| 14 | Zn | 0,07 |
| 15 | Ba | 0,20 |
| 16 | Sr | 0,52 |
| 17 | Mo | 1,40 |
| 18 | Eu | 0,20 |
| 19 | Re | 0,30 |

**Tabel 3.** Hasil Data XRF PC

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Komponen Kimia** | **Unit (%)** |
| 1 | Hg | 0,10 |
| 2 | Al | 4,60 |
| 3 | Si | 13,60 |
| 4 | S | 0,01 |
| 5 | K | 0,99 |
| 6 | Ca | 55,10 |
| 7 | Ti | 1,20 |
| 8 | V | 0,075 |
| 9 | Cr | 0,063 |
| 10 | Mn | 0,42 |

1. *Fly Ash* (FA)

Hasil pengujian *fly ash* dengan metode XRF diuji pada Laboratorium FMIPA, Universitas Negeri Malang.

Hasil uji XRF di bawah, menampilkan kandungan yang tertinggi pada *fly ash* adalah unsur Fe (besi) sebanyak 42,40%, di ikuti unsur Ca (kapur) sebanyak 24,10%, unsur Si sebanyak 18,7%, dan unsur Al sebanyakr 6,00%. Data diatas merupakan XRF *fly ash* tipe C, yang mengandung Fe2O3 + SiO2 + Al2O3 (42,4%+18,7%+6% = 67,1%) > 50% dan unsur Ca = 24,1% > 10% selaras dengan ASTM C168 dan SNI 03-2495-1991. 1991.

**Tabel 4**. Hasil Data XRF FA

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Komponen Kimia** | **Unit (%)** |
| 1 | Hg | 0,03 |
| 2 | Al | 6,00 |
| 3 | Si | 18,70 |
| 4 | Ni | 0,04 |
| 5 | K | 1,52 |
| 6 | Ca | 24,10 |
| 7 | Ti | 1,34 |
| 8 | V | 0,0056 |
| 9 | Cr | 0,094 |
| 10 | Mn | 0,66 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Komponen Kimia** | **Unit (%)** |
| 11 | Yb | 0,06 |
| 12 | Fe | 42,40 |
| 13 | Cu | 0,076 |
| 14 | Zn | 0,02 |
| 15 | Ba | 0,67 |
| 16 | Sr | 1,0 |
| 17 | Mo | 2,20 |
| 18 | Eu | 0,50 |
| 19 | Re | 0,20 |

1. Lumpur Sidoarjo (LUSI)

Lumpur Sidoarjo dalam kondisi kering oven, selanjutnya dilakukan pengujian XRF yang dilakukan pada Laboratorium FMIPA, Universitas Negeri Malang. Dari hasil pengujian, didapatkan unsur Si adalah unsur yang paling tinggi terkandung pada LUSI tersebut yaitu sebesar 36,5%. Adapun unsur kimia yang lain, dapat dilihat dari **Tabel 5**. sebagai berikut:

**Tabel 5.** Hasil Data XRF LUSI

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Komponen Kimia** | **Unit (%)** |
| 10 | Mn | 0,46 |
| 11 | Fe | 32,7 |
| 12 | Cu | 0,13 |
| 13 | Zn | 0,07 |
| 14 | Br | 0,16 |
| 15 | Sr | 0,79 |
| 16 | Mo | 3,00 |
| 17 | Eu | 0,42 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Komponen Kimia** | **Unit (%)** |
| 1 | Re | 0,20 |
| 2 | Al | 12,00 |
| 3 | Si | 36,50 |
| 4 | S | 0,30 |
| 5 | K | 3,67 |
| 6 | Ca | 7,49 |
| 7 | Ti | 2,01 |
| 8 | V | 0,12 |
| 9 | Cr | 0,079 |

1. Pengujian Hasil Tes Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai beban maksimal yang dapat di oleh benda uji. Rancangan *mix design* pada penelitian ini yaitu berjumlah 12 *mix design* dengan 3 buah benda uji pada setiap pengujian dan umur yang direncanakan yaitu 7, 14 dan 28 hari.

**Tabel 6.** Hasil Data Hasil Pengujian Kuat Tekan

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Mix** | **Umur** | **Kuat Tekan** | **Mix** | **Umur** | **Kuat Tekan** |
| **(Mpa)** | **(Mpa)** |
| 1 | 7 | 2,63 | 7 | 7 | 2,09 |
| 14 | 3,27 | 14 | 2,46 |
| 28 | 3,34 | 28 | 3,12 |
| 2 | 7 | 5,68 | 8 | 7 | 1,92 |
| 14 | 6,96 | 14 | 2,19 |
| 28 | 8,11 | 28 | 2,85 |
| 3 | 7 | 3,79 | 9 | 7 | 1,66 |
| 14 | 4,32 | 14 | 1,92 |
| 28 | 5,09 | 28 | 2,76 |
| 4 | 7 | 3,33 | 10 | 7 | 1,55 |
| 14 | 3,98 | 14 | 1,81 |
| 28 | 4,48 | 28 | 2,49 |
| 5 | 7 | 3,12 | 11 | 7 | 1,41 |
| 14 | 3,78 | 14 | 1,79 |
| 28 | 4,19 | 28 | 2,34 |
| 6 | 7 | 2,92 | 12 | 7 | 1,17 |
| 14 | 3,31 | 14 | 1,29 |
| 28 | 3,48 | 28 | 1,83 |

**Gambar 2.** Grafik Hasil Test Kuat Tekan

Dari **Gambar 2**. tersebut menunjukkan bahwa hasil kuat tekan usia 7 hari, 14 hari dan 28 hari terjadi kenaikan secara konsisten dari *mix design* 1 atau kontrol dengan hasil kuat tekan terendah yaitu 2,63 MPa, 3,27 MPa dan 3,34 MPa hingga *mix design* 2 dengan hasil kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 5,68 MPa, 6,96 MPa dan 8,11 MPa dan terjadi penurunan subtitusi LUSI setelah m*ix design* 2 hingga *mix design* 12 dengankuat tekan terendah sebesar 1,17 MPa, 1,29 MPa dan 1,83 MPa yang menggunakan substitusi LUSI 50% terhadap *fly ash.* Hal ini dikarenakan terjadinya peningkatan Si, Al dan penurunan Ca seiring dengan bertambahnya subtitusi LUSI terhadap *fly ash* yang menghasilkan kuat tekan pada benda uji semakin meningkat seperti yang terlihat dari hasil pengujian. Namun seiring peningkatan Si yang tinggi dapat mengakibatkan Si tidak bereaksi dengan baik. Berdasarkan dari hasil pengujian reaksi optimum yang terjadi pada m*ix design* 2 dan terjadi penurunan kondisi reaksi hingga *mix design* 12 seperti yang ditampilkan pada data hasil pengujian.

Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arie Wardhono dkk tahun 2017 tentang *The effect of slag addition on strength development of Class C fly ash geopolymer concrete at normal temperature* yang menyatakan Penambahan terak pada fly ash kels F dengan silikat tinggi (Si) dan kandungan Ca yang rendah dapat memberikan kekuatan tambahan dengan reaksi polimerik beton geopolimer melibatkan Si dan *aluminate* (Al) namun kandungan Si yang semakin tinggi pada *fly ash* cenderung memiliki Si yang tidak bereaksi.

1. Hasil Pengujian Porositas

Pada tahap ini pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui kadar rongga pori yang terdapat pada benda uji. Pada *Mix design* yang direncanakan berjumlah 12 *mix design* dengan jumlah 2 buah benda uji yang dibuat pada setiap usia rencana benda yang diuji.

**Gambar 3.** Grafik Hasil Pengujian Porositas

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa hasil kuat tekan berbanding terbalik dengan hasil porositas. Prosentase porositas mortar dengan nilai kuat tekan terendah pada *mix design 12* dan akan terus meningkat hingga *mix design 2*, hasil uji tertinggi usia 7, 14 dan 28 hari terjadi pada *mix design* *12* yaitu sebesar 31,35%, 30,36% dan 28,91% dengan rasio substitusi 50% LUSI terhadap *fly ash*. Terjadi penurunan hasil prosentase yang terendah yaitu pada *mix design* 2 usia 7, 14 dan 28 hari dengan rasio substitusi lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash* 0% sebesar 20,73%, 19,89% dan 19,53%hal ini selaras dengan penelitian Prasetio, Permana (2014).

1. Hasil Pengujian Vicat

Untuk mengetahui durasi waktu pengikatan yang terjadi pada benda uji dilakukan pengujian vicat dengan kondisi suhu ruangan di Laboratorium Bahan dan Beton Teknik Sipil UNESA. Dalam pengujian ini akan dibuat adonan dari 1 sampel benda uji pada masing-masing *mix design* yang direncanakan. Hasil pengujian ini didapatkan hasil sebagai berikut:

**Gambar 4.** Grafik Hasil Uji Vicat

Dari hasil pengujian tersebut menunjukan bahwa hasil waktu ikat awal dari setiap *mix design* pasta mortar geopolimer lebih cepat dari waktu ikat awal dan akhir pasta semen, ini menunjukkan data efektivitas dari subtitusi lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash,* dimana waktu ikat awal yang terjadi bervariasi pada setiap *mix design* dimana pada waktu ikat awal yang tercepat terjadi pada *mix design* 2. Dan pada waktu ikat akhir pada pasta mortar geopolimer pada *mix design* 2 memunyai waktu pengikatan akhir yang lebih cepat dibandingkan dengan semua *mix design* yang direncanakan. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa rasio subtitusi lumpur Sidoarjo terhadap *fly ash* jugasangat berpengaruh pada durasi pengikatan bendauji.

1. Hubungan Usia Benda Uji Terhadap Hasil Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan pada mortar geopolimer akan dilakukan pada usia 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk tujuan mengetahui hubungan yang terjadi antara usia mortar dengan kuat tekan mortar geopolimer. Mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan, nilai kuat tekan optimal mortar yakni pada usia 28 hari. Hal tersebut terjadi karena reaksi komposisi kimia mortar telah mengikat seutuhnnya, dibandingkan dengan mortar yang diuji pada usia 7 hari dan 14 hari yang komposisi unsur kimia dalam mortar tersebut belum mengikat seutuhnya membuat kuat tekan pada usia 28 hari dapat dikatakan lebih maksimal.

Untuk data hasil kuat tekan terhadap usia mortar dapat dilihat pada grafik **Gambar 5** di bawah.

**Gambar 5.** Hubungan Usia Benda Uji dan Hasil Kuat Tekan

Pada grafik data usia dan kuat tekan mortar yang dapat dilihat dari **Gambar 5** di atas, dapat dikatakan bahwa usia mortar yang bertambah menyebabkan meningkatnya hasil nilai penguujian kuat tekan. Hasil perbandingan hasil pengujian keseluruhan dari setiap *mix design* yang dilihat dari usia rencana menghasilkan data yang berbeda, data tersebut menunjukkan bahwa nilai kuat tekan yang dihasilkan *mix design* yang diberikan campuran lumpur Sidoarjo (*mix design* 3 hingga *mix design* 12) hasil nilai kuat tekan mengalami penurunan yang konstan. Yang mana presentase penambahan lumpur Sidoarjo memengaruhi penurunan kuat tekan mortar geopolimer dan semakin menyebabkan penurunan pada kuat tekan mortar geopolimer tersebut.

Hal ini selaras dengan hasil dari penelitian sebelum nya, yaitu menurut Van Jaarveld, Van Deventer, and Schwartzman (1999) dalam buku Sumajouw et al menjelaskan, beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan adalah proses pencampuran dan komposisi kimia dari abu terbang. Kandungan CaO yang tinggi akan menurunkan porositas mikrostruktur material yang mengakibatkan peningkatan kuat tekan.

1. Hubungan Porositas Terhadap Hasil Kuat Tekan

Pada tahap penelitian ini akan dilakukan analisa porositas pada benda uji setiap *mix design* mortar geopolimer. Pada tahap pengujian porositas ini memiliki tujuan untuk mengetahui besaran persentase pori-pori yang dimiliki pada setiap benda uji mortar geopolimer.

**Tabel 7.** Hubungan Porositas Terhadap hasil Kuat Tekan.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Mix | Umur | Kuat Tekan | Porositas |
| 1 | 28 | 3,34 | 30,37% |
| 2 | 28 | 8,11 | 19,53% |
| 3 | 28 | 5,09 | 21,14% |
| 4 | 28 | 4,48 | 22,61% |
| 5 | 28 | 4,19 | 23,17% |
| 6 | 28 | 3,48 | 23,64% |
| 7 | 28 | 3,12 | 23,90% |
| 8 | 28 | 2,85 | 25,83% |
| 9 | 28 | 2,76 | 26,71% |
| 10 | 28 | 2,49 | 27,15% |
| 11 | 28 | 2,34 | 27,29% |
| 12 | 28 | 1,83 | 28,91% |

Untuk data hasil kuat tekan terhadap porositas dapat dilihat pada grafik **Gambar 6.** di bawah.

**Gambar 6.** Hubungan Porositas Terhadap Hasil Kuat Tekan Usia 28 Hari

Dengan mengacu pada hasil uji kuat tekan dan porositas pada **Gambar 6.** yang diambil 28 hari, Dari hasil data penelitian tersebut dapat dikatakan bahwa *mix desig*n 1 hingga 12 mengalami peningkatan dari *mix design* 1 tanpa subtitusi apapun dan mengalami keadaan kuat tekan maksimal pada *mix design* 2 sebesar 22,25 Mpa dan mengalami kondisi penurunan nilai kuat tekan secara konstan hingga *mix design* 12 dengan nilai kuat tekan sebesar 2,99 Mpa. Sedangkan pada uji porositas mortar mengalami peningkatan nilai dimulai dari *mix design* 2 dengan nilai porositas 12,38% samapi dengan *mix design* 12 dengan nilai porositas sebesar 25,25%. Penurunan nilai porositas terjadi pada *mix design* 1 sampai dengan *mix design* 12 dapat dikatakan bahwa hasil kuat tekan yang bertolak belakang atau berlawanan terhadap hasil uji porositas.

Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Leoindarto C. (2006), Fitriani, Dian Rahma (2010) dan Januarti Jaya Ekaputri dan Triwulan (2013) yang menyatakan berdasarkan hasil tes porositas, dapat disimpulkan bahwa beton yang memiliki prosentase pori tertutup optimum mengindikasikan perilaku mikrostruktur yang baik. Hasil tes porositas ini berhubungan erat dengan hasil tes tekan dan belah. Semakin banyak jumlah pori tertutup dalam beton, dan semakin sedikit jumlah pori terbukanya, maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.

1. Hubungan Vicat Terhadap Hasil Kuat Tekan

Uji waktu ikat mortar dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat waktu yang diperlukan pasta mortar geopolimer yang diteliti untuk mengikat unsur yang dikandungnya. Analisa ini berfungsi sebagai pembanding dari waktu ikat yang terjadi pada mortar akan memiliki efek meningkatkan atau menurunkan kuat tekan pada mortar tersebut. Untuk setiap *mix design* pada penelitian ini sudah direncanakan sedemikian rupa sesuai dengan rasio subtusi tiap *mix design*. *Mix design* untuk benda uji yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 8.** berikut ini.

**Tabel 8.** Hubungan Vicat Terhadap Hasil Kuat Tekan

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Mix | Kode | VICAT (menit) | | Kuat Tekan (Mpa) | | |
| Waktu Ikat Awal | Waktu Ikat Akhir | 7 Hari | 14 Hari | 28 Hari |
| 1 | I | 180 | 420 | 2.63 | 3.27 | 3.34 |
| 2 | a | 30 | 285 | 5.68 | 6.96 | 8.11 |
| 3 | b | 30 | 300 | 3.79 | 4.32 | 5.09 |
| 4 | c | 30 | 315 | 3.33 | 3.98 | 4.48 |
| 5 | d | 30 | 315 | 3.12 | 3.78 | 4.19 |
| 6 | e | 30 | 315 | 2.92 | 3.31 | 3.48 |
| 7 | f | 30 | 330 | 2.09 | 2.46 | 3.12 |
| 8 | g | 30 | 330 | 1.92 | 2.19 | 2.85 |
| 9 | h | 30 | 330 | 1.66 | 1.92 | 2.76 |
| 10 | i | 30 | 345 | 1.55 | 1.81 | 2.49 |
| 11 | j | 45 | 360 | 1.41 | 1.79 | 2.34 |
| 12 | k | 45 | 375 | 1.17 | 1.29 | 1.83 |

Lebih jelas, data analisa kuat tekan x waktu ikat mortar geopolimer dapat dilihat pada grafik **Gambar** **7**. berikut

**Gambar 7.** Hubungan Vicat Terhadap Hasil Kuat Tekan

Data grafik analisa kuat tekan x waktu ikat yang disajikan pada **Gambar 7.** semakin banyak lumpur Sidoarjo yang digunakanpada setiap *mix design* mengakibatkan bertambahnya waktu ikat pada pasta. Hasil uji vicat cenderung naik secara stabil dengan penambahan waktu sebesar 15 menit. Namun pada beberapa *mix design* penambahan terhenti sejenak, yaitu pada *mix design* 5, *mix design* 6, *mix design* 8, dan *mix design* 9. Bertambahnya waktu ikat disebabkan kandungan Ca pada Lumpur Sidoarjo yang cukup rendah yaitu 7.49%. Sehingga dapat di tarik penjelasan jika bertambahnya kadar Lumpur Sidoarjo (LUSI) mengakibatkan kuat tekan mortar berbanding terbalik dengan waktu ikat (setting time) mortar geopolimer.

Pada kondisi ini menyatakan bahwa telah terjadi penurunan kondisi setelah *mix design* 2 dan dengan presentase lumpur Sidoarjo yang bertambah telah mengakibatkan hasil waktu ikat pasta yang lebih lama. Hasil nilai kuat tekan mortar geopolimer yang bertambah akan memengaruhi durasi waktu ikat pasta, semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan akan mengakibatkan waktu ikat pasta mortar geopolimer menjadi lebih cepat meningkat, begitupun dengan kebalikannya, semakin menurunnya hasil nilai kuat tekan yang dihasilkan akan dapat mempengaruhi semakin lamanya durasi waktu ikat pasta mortar geopolimer.

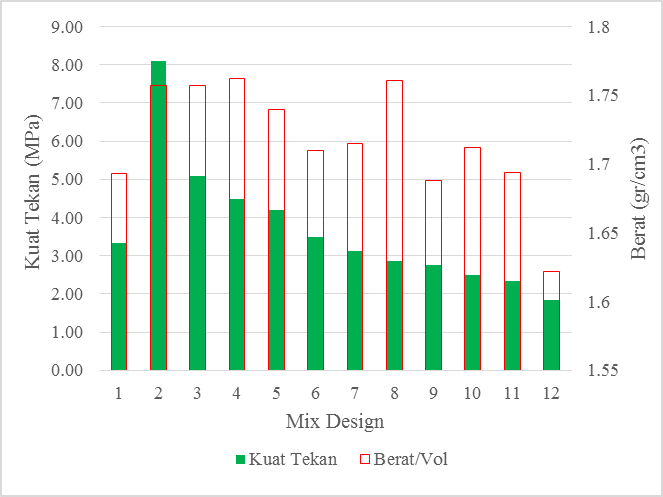
1. Hubungan Berat Volume Terhadap Kuat Tekan

Tujuan pada tahap penelitian ini yaitu bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh dari berat volume mortar geopolimer terhadap kuat tekan yang dihasilkan. Presentase bahan material yang akan digunakan juga akan memengaruhi berat volume mortar dikarenan setiap campuran memiliki rencana yang berbeda-beda, serta proses pencampuran material benda uji di lapangan juga akan sangat berpengaruh. Tingginya nilai berat mortar menunjukkan kondisi kepadatan dari benda uji tersebut dan akan sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan.

Dari hasil yang didapatkan berdasarkan **Gambar 8.** dibawah tentang pengaruh hubungan dari berat volume terhadap kuat tekan mortar 28 hari menunjukan bahwa kuat tekan terbesar pada *mix design* 2 dengan penggunaan lumpur Sidoarjo sebesar 0% yaitu memiliki kuat tekan sebesar 8,11 MPa dengan berat per-volume sebesar 1,75 gram/cm3. Sedangkan pada *mix design* terendah terjadi pada *mix design* 12 dengan kuat tekan sebesar 1,83 MPa dengan berat per-volume sebesar 1,62 gram/ cm3. Berat per-volune yang didapatkan dari masing-masing *mix design* benda uji mengalami penurunan berat, namun tidak memberikan perbedaan yang begitu besar pada berat tiap benda uji. Ini menunjukkan berat tiap benda uji memiiki kepadatan yang berbeda-beda. Sehingga dapat dikatakan nilai berat per-volume mortar yang besar dapat mempengaruhi besarnya kuat tekan mortar yang dihasilkan.

**Tabel 9.** Hubungan Berat Volume Terhadap Hasil Kuat Tekan

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Mix | Umur | Kuat Tekan | Berat Volume |
| 1 | 28 | 3.34 | 1.693 |
| 2 | 28 | 8.11 | 1.757 |
| 3 | 28 | 5.09 | 1.757 |
| 4 | 28 | 4.48 | 1.762 |
| 5 | 28 | 4.19 | 1.740 |
| 6 | 28 | 3.48 | 1.710 |
| 7 | 28 | 3.12 | 1.715 |
| 8 | 28 | 2.85 | 1.761 |
| 9 | 28 | 2.76 | 1.688 |
| 10 | 28 | 2.49 | 1.712 |
| 11 | 28 | 2.34 | 1.694 |
| 12 | 28 | 1.83 | 1.622 |



**Gambar 8.** Hubungan Berat Volume Terhadap Hasil Kuat Tekan

**PENUTUP**

**Simpulan**

Hasil penelitian mendapatkan simpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh penggunaan Lumpur Sidoarjo sebagai substitusi *Fly Ash* pada pembuatan mortar geopolimer mengakibatkan kuat tekan mortar geopolimer menurun searah dengan peningkatan persentase Lumpur Sidoarjo yang digunakan.
2. Persentase optimal penggunaan Lumpur Sidoarjo pada campuran mortar geopolimer sebagai substitusi *Fly Ash* dengan kondisi perbandingan pasta dan pasir sebesar 1:4-6, SS/SH 0,5 dan NaOH 12 molar, adalah pada presentase 5% penggunaan Lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi *Fly Ash* dan 20% kapur yaitu *mix design* 3 yang memiliki kuat tekan sebesar 5,09 MPa. Hasil kuat tekan optimal yang didapatkan mengalami penurunan sebesar 37,24% dari *mix design* 2 atau kontrol yaitu sebesar 8,11 MPa, dimana pada campurannya tanpa menggunakan lumpur Sidoarjo atau menggunakan 80% *Fly Ash* dan 20% kapur.

**Saran**

Dari hasil semua tahap penelitian yang telah dilakukan, adapun beberapa saran untuk produksi mortar geopolimer yang akan dilakukan ataupun untuk penelitian selanjutnya yang akan dilakukan yakni:

1. Perlu dilakukan percobaan variasi perbandingan pasir dengan pasta sehingga didapatkan hasil penelitian penggunaan lumpur Sidoarjo sebagai subtitusi *fly ash* yang optimal.
2. Untuk alat yang dipakai dalam melakukan penelitian harus dipastikan dalam kondisi yang baik terutama pada alat tes tekan harus sudah terkalibrasi sehingga dapat menghasilkan data-data yang valid.
3. Sebelum melakukan penelitian, pastikan memakai APD (alat pelindung diri) dikarenakan pada penelitian ini menggunakan material-material yang berbahaya seperti NaOH yang mempunyai sifat korosif.

**DAFTAR PUSTAKA**

ASTM C 109/C 109M. 2008. “*Standard Test Method for Compressive Strength of Hidraulic Cement Mortars (Using 50mm) Cube Specimens”.* Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.02.2008. ASTM 2008: Philadelpia.

ASTM C 618-93*. “Standard Test Methods for Fly Ash and Row or calcined Natural Pozzolan for Use as a mineral Admixture in Portland Cement Concrete,”* American Society for Testing of Concrete’s,1991.

Badan Standarisasi Nasional (2016). *SNI 1970:2016. “Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus”.* Bandung: Badan StandarisasiNasional.

Departemen Pekerjaan Umum. “*Spesifikasi Bahan Tambah Untuk Beton”*. SNI 03-2495-1991. 1991. Bandung: LPMB.

Ekaputri Januarti J, dan Triwulan. 2013 “Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer”.Surabaya: Intitut Teknologi Sepuluh Nopember.

Fitriani, Dian Rahma. 2010. “Pengaruh Modulus Alkali dan Kadar Aktivator terhadap Kuat Tekan *Fly Ash-Based Geopolymer Mortar*”. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Jodjana, Aleksander. 2014. “Pemanfaatan Campuran Lumpur Sidoarjo dan *Fly Ash* dalam Pembuatan Mortar Geopolimer Mutu Tinggi”. Surabaya: Universitas Kristen Petra.

Leoindarto C., Sanjaya, A., Antoni, A., & Sugiharto, H. (2006). “Komposisi *Alkaline Aktivator* dan *Fly Ash* Untuk Beton Geopolimer Mutu Tinggi”. Jurnal Dimensi Teknik Sipil, Universitas Petra Surabaya.

Prasetio, Permana P. Gary Kartadinata, Djwantoro Hardjito, dan Antoni. (2014)*: Karakteristik Mortar dan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Sidoarjo”.* Surabaya: Universitas Kristen Petra.

Van Jaarsveld, J.G.S., Van Deventer, J.S.J., 1999a. “*Effect of the alkali metal activator on the properties of fly-ash based geopolymers”*. Industrial and Engineering Chemistry Research 38 (10), 3932–3941.

Wardhono, Arie, David W. Law, Sutikno dan Hasan Dani. (2017). “*The effect of slag addition on strength development of Class C fly ash geopolymer concrete at normal temperature*”. *Melbourne, Australia : RMIT University.*